27. Vlnové vlastnosti světla

❖ Základní vlastnosti světla

Viditelné světlo = elektromagnetické vlnění s vlnovými délkami 400 – 760 *nm*
Pozn.: ultrafialové záření (neviditelné) → 400*nm* (fialové) – 760*nm* (červené) → infračervené záření (neviditelné)
Bílé světlo – složeno z jednobarevných (monochromatických) světel (duha)
- spektrum :

červená
oranžová
žlutá
zelená
modrá
indigová
fialová

} dále se už nerozkládají (pomůcka : čožzmif)

Pozn.: oční sítnice je nejcitlivější na žlutozelenou barvu (vlnová délka asi 550 nm)
Rychlost světla: c = 300 000 $km.s^{-1}$ = $3 . 10^{-8}$ $m.s^{-1}$ ve vakuu (vzduchu)

$\lambda = \frac{c}{f}$ … **λ -** vlnová délka světla, **f** – frekvence světelného vlnění (určuje barvu světla)

Metody určení rychlosti světla :
První byl dánský astronom **Römer** – v letech 1675 – 1676 prováděl na hvězdárně v Paříži pozorování zákrytů Jupiterova měsíce Io. Na jejich základě vypočítal c = 230 000 $km.s^{-1}$.
Tento výpočet je sice nepřesný, ale Römer první ukázal, že rychlost světla je konečná.
Fizeaův princip – první laboratorní měření rychlosti světla.
Historie fyziky zná velké množství různých způsobů měření rychlosti světla.

❖ Šíření světla

Světlo – elektromagnetické vlnění PŘÍČNÉ!
Šíření na základě **Huygensova principu**
- každý bod vlnoplochy, do něhož dospělo vlnění v určitém časovém okamžiku, lze pokládat za zdroj elementárního vlnění, které se od něho šíří v elementárních vlnoplochách. Výsledná vlnoplocha (ve všech jejích bodech má vlnění v každém určitém časovém okamžiku stejnou fázi) je vnější obalová plocha všech elementárních vlnoploch.

Šíření světla v různých prostředích

Na rozhraní mezi dvěma prostředími – odraz a lom světla;

- čirým sklem prochází světlo téměř beze změny
- barevným sklem projde jen světlo určitých vlnových délek, nastává absorpce (pohlcování) světla
- matné sklo nepravidelně mění směr šíření světla, nastává rozptyl světla
- zrcadlem (sklo pokryté vrstvou kovu) světlo neprochází, nastává pouze odraz světla

Optická prostředí :

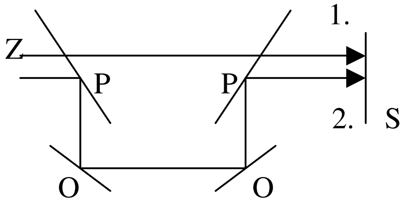
- **průhledné –** nedochází v něm k rozptylu
- **průsvitné –** světlo prostředím prochází, ale jen zčásti se v něm rozptyluje
- **neprůhledné –** světlo se v něm silně pohlcuje nebo se na povrchu odráží

- prostředí opticky **homogenní** **-** má v celém svém objemu stejné optické vlastnosti
- prostředí opticky **izotropní** – šíření světla zde nezáleží na směru
- prostředí opticky **anizotropní -** šíření světla zde záleží na směru

❖ Vlnové vlastnosti světla

- dokazují jevy : 1. **interference** = skládání světelných vlnění
  2. **difrakce** =ohyb
  3. **polarizace**

Interference světla - je pozorovatelná pouze pro **koherentní vlnění** (toho se dá docílit pouze rozdělením světelného vlnění z téhož zdroje (odrazem, lomem,…) - musí mít stejné vlastnosti – frekvence, stálý, na čase nezávislý fázový rozdíl, …)

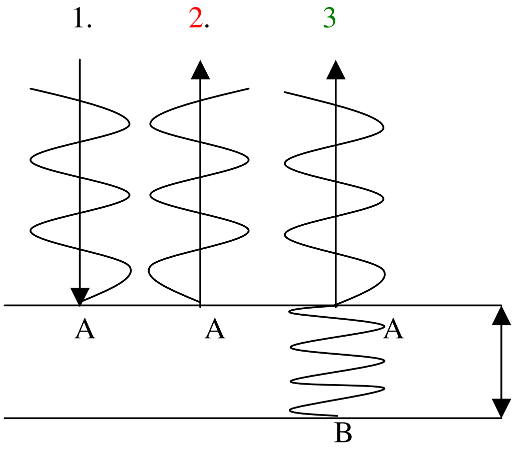


P … polopropustné zrdcadlo
S … stínítko
1., 2. … koherentní paprsky
O … zrcadlo (odraz)

Interference světla na tenké vrstvě

- vysvětlíme tak **barevné skvrny na mýdlových bublinách**, na **olejových skvrnách na kalužích**, … bílé světlo obsahuje světelná vlnění různých vlnových délek (různých barev), které se při dopadu na vrstvu oleje odráží od jejího horního rozhraní a po průchodu vrstvou i od dolního rozhraní → vzniká dráhový rozdíl a podle tloušťky vrstvy se světlo některých vlnových délek zesiluje a některé zeslabuje → barevnost skvrny

1. dopadající paprsek
2. paprsek - odraz v bodě A
3. paprsek - odraz v bodě B



vzduch

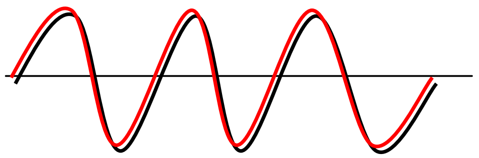
d – mýdlová blána

vzduch

Pozn.: pokud se světlo odráží od opticky hustšího prostředí, mění se fáze na opačnou, pokud se odráží od prostředí opticky řidšího, pak se fáze nemění.

Interference vzniká složením paprsků **2** a **3**, mezi nimiž vznikl dráhová rozdíl Δ :
$\Delta = \boldsymbol{\lambda/2} + \mathbf{2\ .\ d\ .\ n}$

a) interferenční maximum ⇔ interferující paprsky mají stejnou fázi



$$\mathbf{\Delta = k \, . \, \lambda}$$

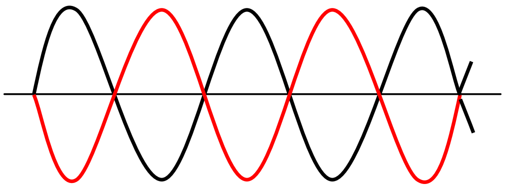
$$\frac{\lambda}{2} + 2.d.n = k\,.\lambda$$

$$2.d.n = k\,.\lambda - \frac{\lambda}{2}$$

$$2.d.n = \frac{\lambda}{2}.(2k - 1)$$

$$\mathbf{d} = \frac{\lambda}{4n}\,\mathbf{.(2k - 1)}$$

b) interferenční minimum ⇔ interferující paprsky mají opačnou fázi



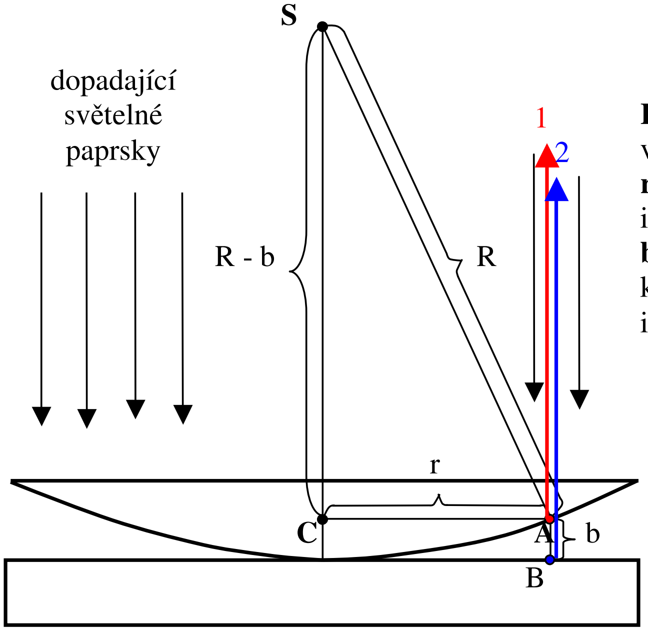
$$\mathbf{\Delta = (2k + 1) \, .} \, \frac{\lambda}{2}$$

$$\frac{\lambda}{2} + 2.d.n = k\,.\lambda + \frac{\lambda}{2}$$

$$\mathbf{d} = \frac{k.\lambda}{2.n}$$

Interference – Newtonovy kroužky

- interferenční jev, který vzniká ve vzduchovém klínu mezi planparalelní deskou a ploskovypuklou čočkou
  - v monochromatickém světle – střídání jednobarevných kroužků a temných kroužků
  - v bílém světle – barevné kroužky



R – poloměr křivosti vypuklé plochy čočky
r – poloměr sledovaného interferenčního kroužku
b – tloušťka vzduchového klínu v místě sledovaného interferenčního kroužku

Výpočet poloměru r_k interferenčního kroužku světlého (maximum) nebo tmavého (minimum) pro případ, že planparalelní deska i čočka jsou ze skla a okolní prostředí je opticky řidší než materiál čoček (např. vzduch):

Je třeba poznamenat, že tloušťka vzduchového klínu b (zlomky milimetru) je mnohonásobně menší než poloměr kroužků r (desítky milimetrů) a než poloměr vypuklé plochy čočky R (metry).

Interferenční jev v odraženém světle vzniká skládáním dvou světelných paprsků, které se odrážejí na okrajích vzduchového klínu – tedy v bodech

A (první paprsek se odráží od opticky řidšího prostředí – beze změny fáze) ….. $\Delta_1 = 0$

B (druhý paprsek se jednak odráží od opticky hustšího prostředí – změna fáze na opačnou, jednak překonává ve srovnání s prvním paprskem navíc dvakrát vzdálenost *b*) ….. $\Delta_2 = \frac{\lambda}{2} + 2bn$, kde n je index lomu vzduchu (okolního prostředí)

Celkový dráhový rozdíl obou paprsků: $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = \frac{\lambda}{2} + 2bn$.

Δ**SCA**:

$$|CS|^2 + |CA|^2 = |AS|^2$$

$$(R-b)^2 + r^2 = R^2$$

$$R^2 - 2Rb + b^2 + r^2 = R^2$$

(b^2 – zanedbatelně malé)

$$r^2 \approx 2Rb$$

$$b \approx \frac{r^2}{2R}$$

Po dosazení za *b* je tedy dráhový rozdíl interferujících paprsků $\Delta = \frac{\lambda}{2} + \frac{r^2 n}{R}$.

a) interferenční maximum (světlý kroužek): $\boldsymbol{\Delta = k \,.\, \lambda}$ k – pořadí kroužku

$$\frac{\lambda}{2} + \frac{r^2 n}{R} = k.\lambda$$

$$r_k = (2k-1)\frac{\lambda}{2}.\frac{R}{n}$$

b) interferenční minimum (tmavý kroužek): $\boldsymbol{\Delta = (2k + 1) \,.\, \frac{\lambda}{2}}$

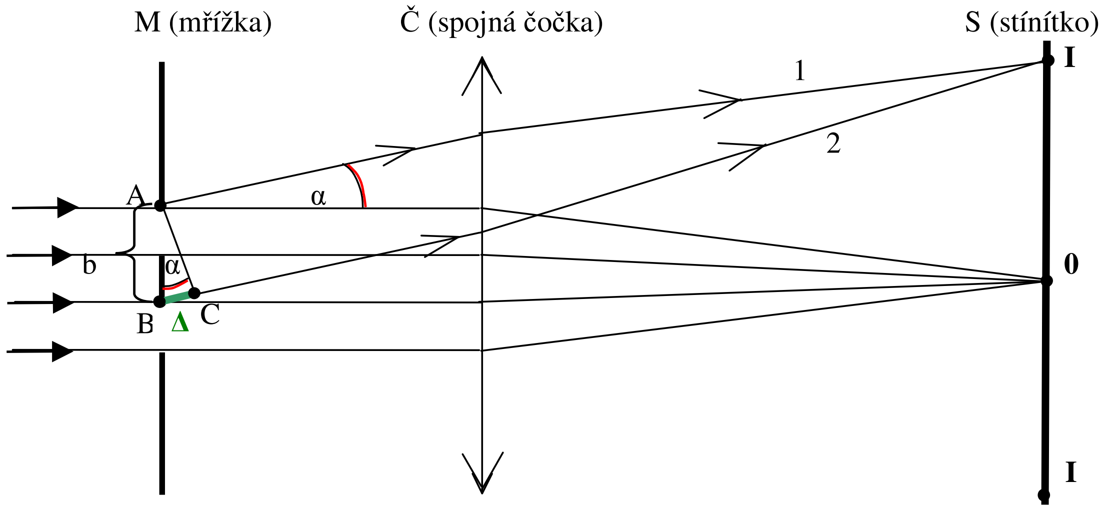
$$\frac{\lambda}{2} + \frac{r^2 n}{R} = (2k + 1) \,.\, \frac{\lambda}{2}$$

$$\frac{r^2 n}{R} = k.\lambda$$

$$r_k = \sqrt{\frac{k.\lambda.R}{n}}$$

Ohyb světla – difrakce

- jev šíření světla do prostoru geometrického stínu, pozorovatelný v případě, že se světlo na své cestě setkává s překážkou, jejíž rozměry jsou srovnatelné s vlnovou délkou světla (např.: **optická mřížka**).



b – mřížková konstanta, charakterizuje optickou mřížku

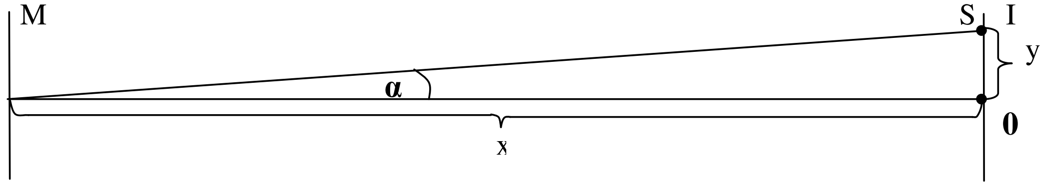
Δ ABC (pravoúhlý s pravým úhlem při vrcholu C):

$\frac{\Delta}{b} = \sin\alpha \Rightarrow \Delta = b.\sin\alpha$ …dráhový rozdíl mezi dvěma odpovídajícími paprsky 1 a 2.

Interference:

max:	**min:**
$\Delta = k \,.\, \lambda;$	$\Delta = (2k + 1) \,.\, \frac{\lambda}{2};$
$b.\sin\alpha = k.\lambda;$	$b.\sin\alpha = (2k + 1) \,.\, \frac{\lambda}{2}$

<u>Pozn.:</u> Ohyb se dá využít pro měření vlnové délky světla: α – malý ⇒ sinα ≈ tgα.

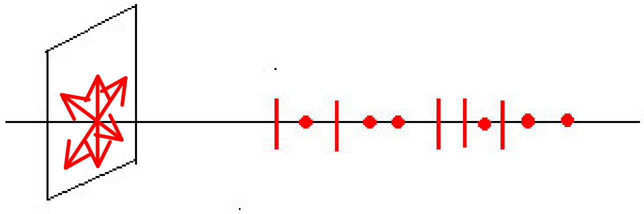


1. maximum (k = 1): $b.\sin\alpha \approx b.\mathrm{tg}\,\alpha = b.\frac{y}{x}$

$$b.\frac{y}{x} = 1.\,\lambda = \lambda$$

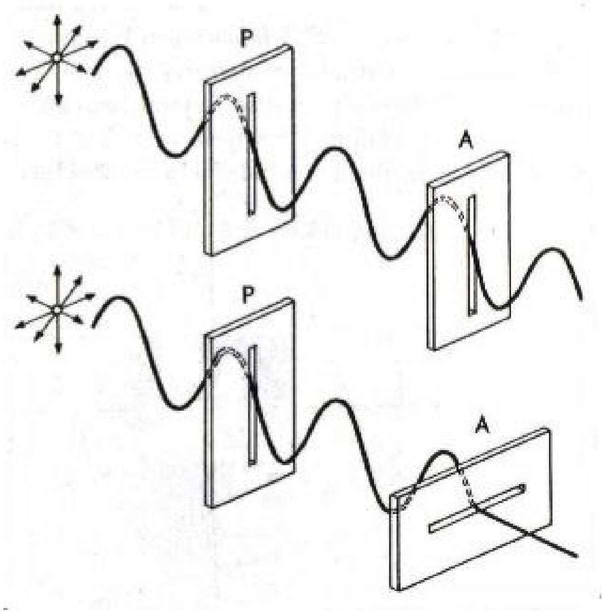
Polarizace světla

- jev dokazující, že světlo je příčné vlnění
- obyčejné – nepolarizované světlo má kmity $\vec{E}$ a $\vec{B}$ probíhající nahodile ve všech směrech kolmých na směr šíření světla.



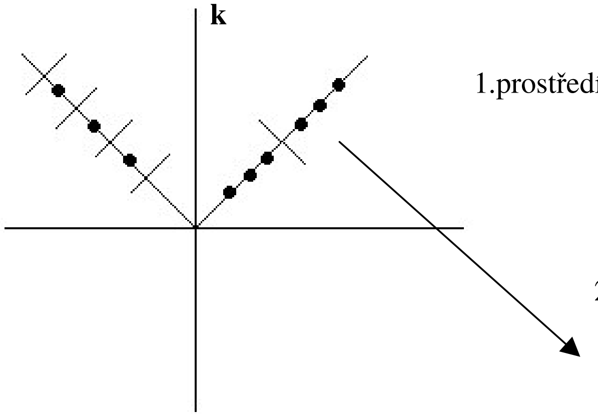
Polarizované světlo – kmity $\vec{E}$ a $\vec{B}$ probíhají pouze v jedné rovině.

Mechanický model polarizace světla:



Způsoby získávání polarizovaného světla:

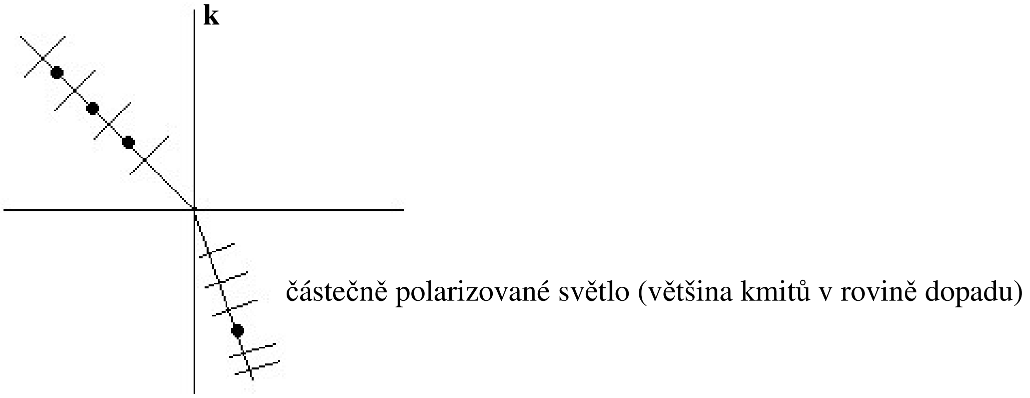
1. odrazem



nedokonale (částečně) polarizované světlo (většina kmitů kolmá na rovinu dopadu)

Pozn.: Dokonalá polarizace při Brewsterově úhlu (Brewsterův úhel je pro každý materiál jiný a dá se spočítat podle vzorce $\theta_B = \mathrm{arctg}\,\frac{n_2}{n_1}$, kde θ_B je Brewsterův úhel, n_2 je index lomu materiálu, od kterého se světlo odráží, n_1 je index lomu materiálu, kterým se světlo šíří; např. pro odraz od skla s $n_2 = 1{,}5$ zpět do vzduchu s $n_1 = 1$ je $\theta_B = 56^o$)

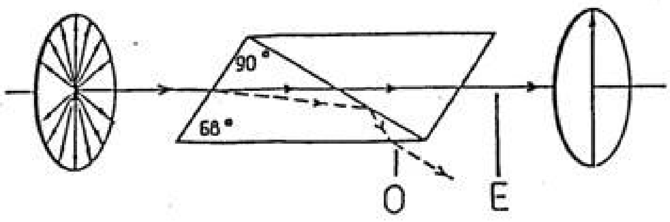
2.lomem



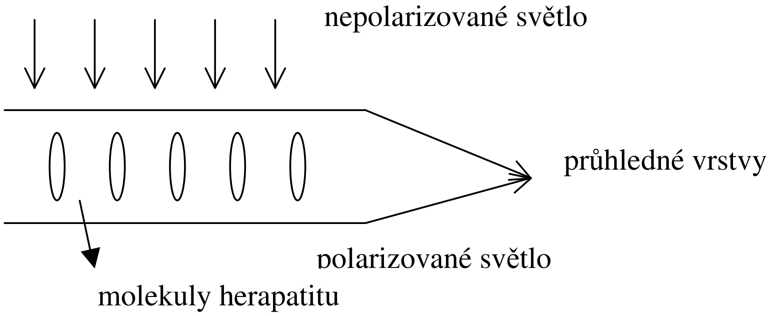
3. dvojlomem
- islandský vápenec – krystal neizotropní vůči průchodu světla různými směry

Vznik lineárně polarizovaného záření průchodem paprsku Nicolovým hranolem.Úprava spočívající ve slepení krystalu kanadským balzámem (nepropustí UV záření) nebo glycerínem(propustí UV záření) umožní získat nejlepší polarizátor (odstraní se např. řádný paprsek…)

O ... řádný paprsek (ordinarius) *E ... mimořádný paprsek (extraordinarius)*



4. absorpcí – polarizátory (polaroidy) – v čisté vrstvě průhledného plastu jsou obsaženy ultramikroskopické krystalky herapatitu (perjodid síranu chininového), jejichž optické osy se při výrobě uspořádají vzájemně rovnoběžně. Herapatit po dvojlomu propouští jen světlo mimořádného paprsku, zatímco světlo řádného paprsku se v něm pohlcuje. Tyto polaroidy se mohou vyrábět ve velkých plochách a jsou mnohem levnější než nikoly.



Užití polarizovaného světla :

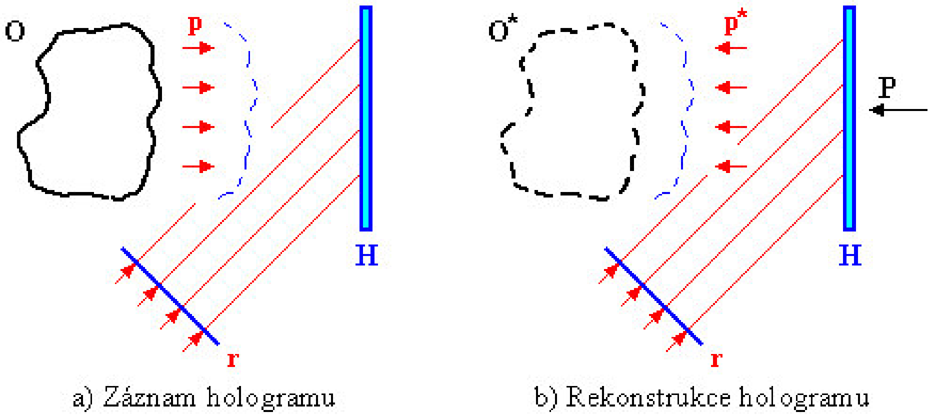
1. fotoelasticimetrie – užití pro měření zatížení a namáhání modelů stavebních prvků

2. měření koncentrace opticky aktivních roztoků (využívá se skutečnosti, že různě koncentrované roztoky různě stáčejí rovinu polarizovaného světla)

3. polarizační filtry – např. při fotografování lesklých předmětů – odražené světlo se vždy částečně polarizuje. Dá se proto snadno odstranit nebo aspoň částečně potlačit vhodně orientovaným analyzátorem – polarizační filtr na objektivu fotoaparátu (při přímém pozorování lze použít polarizační brýle, přední sklo automobilu lze opatřit polarizačním filtrem, …).

Holografie

Holografii objevil anglický fyzik maďarského původu Dennis Gabor(1900-1979), který za ni získal v roce 1971 Nobelovu cenu. Pojem holografie pochází z řeckých slov holos (úplný) a grafein (zaznamenávat). Tento nový obor optiky se zabývá metodami záznamu a následné rekonstrukce trojrozměrných obrazů.



Při záznamu je objekt *O* osvětlen a předmětový svazek *p* šířící se od objektu interferuje s referenčním svazkem *r* a vzniklá mikrointerferenční struktura exponuje holografickou desku *H*. Úplný záznam vlny, tj. amplitudy i fáze, umožní znamenat prostorové objekty na holografickou desku trojrozměrně. Po vyvolání holografické desky je třeba tuto desku osvětlit rekonstrukčním svazkem, který by měl být shodný s referenčním svazkem *r*. Na mikrointerferenční struktuře dojde k ohybu paprsků a vytvoří se zpětně rekonstruovaný předmětový svazek p^*, který je shodný s původním předmětovým svazkem *p*. Pozorovatel může pak ve směru *P* skrz holografickou desku pozorovat rekonstruovaný obraz O^* původního objektu *O*.